

호소내 퇴적물의 수질오염물질 분석 (II) - 중금속 -

박 선 구★ · 김 성 수 · 고 오 석*

국립환경연구원, *조선대학교 환경공학과
(2000. 10. 6 접수)

Determination of Heavy Metals for Sediment Proximated to Water in Lake (II)

Sun-Ku Park*, Sung-Soo Kim and Oh-Suk Ko*

National Institute of Environmental Research Environmental Complex 2-1, Kyungseo-dong Seo-gu,

Incheon, 404-170, Korea, *Department of Environmental Engineering, Chosun University

(Received October 6, 2000)

요 약: K 수계 5개 지점의 3종류 퇴적물에 대해 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd를 측정분석하였다. 물과 균접된 퇴적물(5 cm)이 다른 퇴적물(5-10 cm, 10 cm)보다 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd 모두 높은 값을 나타내었다. 물과 균접된 퇴적물의 중금속 결과는 34.9-39.8 mg Fe/L, 34.5-44.8 mg Cu/L, 68.0-79.2 mg Cr/L, 147.4-126.0 mg Zn/L, 2.2-1.0 mg Cd/L를 나타내었다. 이상의 결과로부터 퇴적물이 호소내 수질오염에 영향을 미치는 요인임을 알 수 있었다.

Abstract: The study was carried out to analyze the pollutants, Fe, Cu, Cr, Zn, Cd for 3 sediments of 5 sites collected from lake in K river basin. 5 cm sediment, which is nearly proximate to water from sediment of depth 30 cm, showed higher Fe, Cu, Cr, Zn, Cd data than another 5-10 cm and 10 cm sediment, which is separated from sediment of depth 30 cm. Also, 5 cm sediment nearly proximate to water showed the following data: Fe, 34.9-39.8 mg/L, Cu, 34.5-44.8 mg/L, Cr, 68.0-79.2 mg/L, Zn, 147.4-126.0 mg/L, Cd, 2.2-1.0 mg/L, respectively. From this results, we know the fact that the pollution degree of sediment has an effect on the water quality in lake and stream.

Key words: sediment, water quality, Fe, Cu, Cr, Zn, Cd

1. 서 론

인구의 도시집중 및 증가와 생활수준 향상에 따른 생활용수 증가, 화학공업 산업 발달에 따른 공업용수 사용량 증가 등에 따라 공공수역으로 유입되는 오수

및 용수량이 증가되어 오염물질의 농도가 계속적으로 축적되고 있다. 따라서 상수원수로 사용되고 있는 하천이나 호수 등의 공공수역내의 자연정화능력은 떨어지고 있어 수생생태계 등 수질환경은 점차 악화되고 있는 추세이다.¹⁻³

지금까지 공공수역에 대한 수질보전 및 관리는 환경기초시설 확대로 각종 산업폐수 및 생활오수 등을 처리시설로부터 완전히 처리하여 상수원으로 방류시키는 것과 배출원에서 수질오염물질을 적정하게 관리

* Corresponding author
Phone : +82-(0)32-560-7137 Fax : +82-(0)32-568-2041
E-mail : sunku@me.go.kr

하여 상수원으로 오염물을 최소로 유입시키는 것 등 외적요인인 점오염원과 비점오염원에 만 큰 관심의 대상이 되어왔다.⁴

그러나 수질오염의 내적요인인 홍수기 및 또 다른 요인에 의해 호소나 하천에 유기오염물질을 함유한 토사의 유입과 호소내에서 서식하는 어패류, 조류 및 식물 등의 고사체가 퇴적된 퇴적물에 의한 오염정도를 파악하는 조사연구가 아직까지 매우 미흡한 실정이다. 그러나 퇴적물의 오염도 중 부영양화 요인인 총 질소, 총인이 용출에 의한 수질오염에 영향을 미치는 조사연구가 다소 진행된 사례^{5,6}가 있으나 퇴적물 중의 중금속 오염도 및 수질영향 관련 조사연구는 거의 이루어지고 있지 않는 실정이다. 따라서 퇴적물 중 중금속에 대한 정확한 오염정도를 파악하여 퇴적물로부터 중금속이 수질에 미치는 영향에 대한 조사연구에 큰 관심을 두어야 할 것이다.^{7,9}

최근에는 호수 수질개선 일환으로 퇴적물로부터 용출되는 각종 오염물질의 기여도를 줄이고 제거하기 위해서 호소내 퇴적물을 처리할 필요성이 대두되고 있다. 이러한 대책으로서 준설이 요구되었으나 준설의 경우, 이로 인한 2차적인 수질오염의 우려와 효율성 및 경제성 결여 측면에서 많은 논란이 야기되었다.¹⁰⁻¹¹

따라서 퇴적물이 수질에 미치는 영향을 파악하기 위해서는 우선적으로 퇴적물에 대한 정확하고 신뢰성 있는 측정분석이 선행되어 오염정도를 정확히 파악하여 준설여부 등을 결정하는 것이 바람직하다고 판단된다.

상수원수로 사용되고 있는 호소나 하천수에 대한 수질오염의 정도는 여러 가지 항목으로 평가하고 있으나 그 중에서도 법적 규제대상의 수질환경기준 항목인 중금속은 인체에 지속적인 축적에 의한 위해성이 크기 때문에 이에 대한 검출 농도로 수질 오염도를 해석·평가하며 관리하고 있다. 이를 기초로 퇴적물에 대한 오염정도를 간접적으로 파악하기 위해서 상기 항목들을 측정분석하여 퇴적물이 수질에 미치는 영향을 파악하는 것이 또 다른 수질관리에 매우 중요한 요소가 되고 있다.

본 연구에서는 퇴적물에 대한 오염정도를 파악하고 이들이 수질에 미치는 영향을 조사하기 위해 퇴적물의 깊이별 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd를 측정분석하였다.

2. 실험

2.1. 시약 및 기구

실험에 사용된 모든 시약은 특급시약을 사용하였고, 중류수는 1차적으로 중류된 것을 다시 탈이온화시킨 17.8 MΩ·cm 이상의 3차 초순수 중류수를 사용하였다. 모든 초자 및 기구는 3차 중류수로 씻은 후 건조하여 사용하였다. 시료채취는 코아 채취기(core sampler)를 사용하여 코아 튜브속에 채취되도록 하였으며, 냉동건조된 퇴적물은 2 mm체로 걸렸으며, 이들 시료는 질산과 황산을 넣어 전처리하였다. 전처리된 시료의 중금속을 분석하기 위한 장비로는 Varian사의 Spectra AA 300 원자흡광광도계 (atomic absorption spectrophotometer)를 사용하였다.

2.2. 실험방법

K 수계 수질의 시료는 코어 샘플러를 이용하여 수심이 30-40 m인 6개 지점에 대하여 코어튜브속에 채취되도록 한 후¹² 부유성 퇴적물이 완전히 침전될 때까지 1주일 동안 4°C 냉장보관하였다. 퇴적물층 위의 물을 퇴적물이 교란되어 흘러나오지 않도록 조용히 비이커에 옮긴 다음 퇴적층을 깊이별인 최상층 5 cm 이내, 퇴적층 5-10 cm, 퇴적물의 최하층 10 cm 이하로 분리하고, 원심분리하여 물을 제거한 다음 5일 동안 진공하에 냉동건조시켰다. 건조된 각각의 시료를 2 mm 눈금체로 거른 다음 건조된 시료를 질산과 황산을 넣어 전처리하였다.

전처리한 시료를 원자흡광광도계를 이용하여 각각의 중금속을 측정분석 하였다.¹³⁻¹⁵

3. 결과 및 고찰

K 수계 수심이 30-40 m의 5개 지점(CSL-1, CSL-2, CD-3, CD-5, MI-4)에 대해 깊이별 퇴적물인 최상층 5 cm 이내, 퇴적층으로부터 5-10 cm, 퇴적물의 최하층 10 cm 이하 시료에 대한 수질오염물질 항목인 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd의 측정분석 결과는 다음과 같다.

3.1. Fe, Cu, Cr의 농도 비교·분석

수심이 30-40 m의 5개 지점(CSL-1, CSL-2, CD-3, CD-5, MI-4)의 최상층 5 cm 이내 퇴적물, 퇴적층 5-10

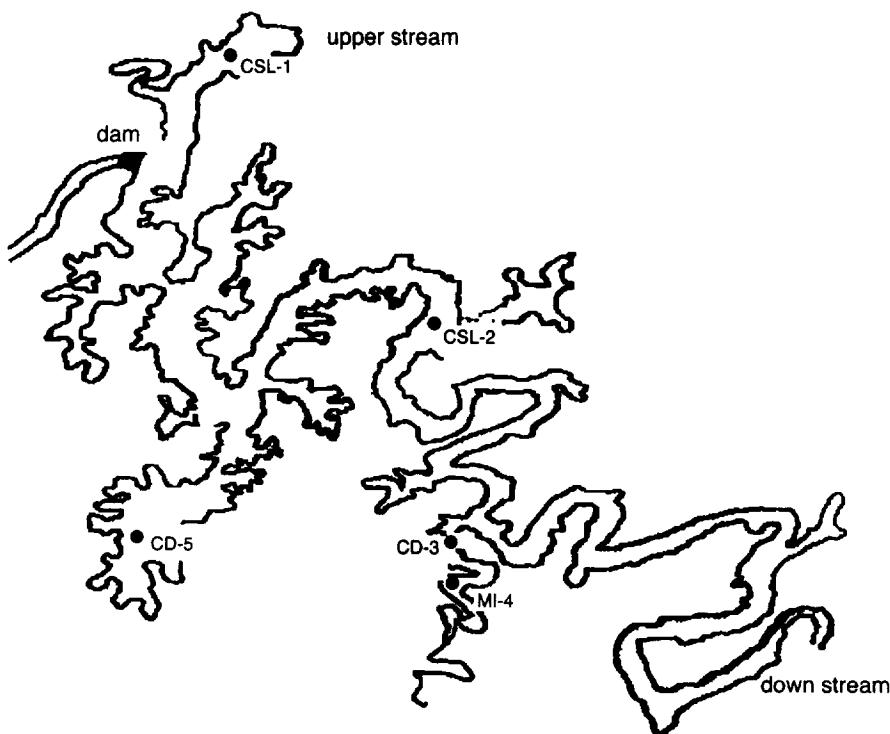


Fig. 1. Sampling site of D lake in K river basin.

cm, 퇴적물의 최하층 10 cm 이하 시료에 대한 중금속의 함유정도를 파악하기 위하여 Fe, Cu, Cr를 측정한 결과 물과 바로 접촉된 최상부 5 cm 이내 퇴적층이 각각 34.9-39.8 mg/kg, 34.5-44.8 mg/kg, 68.0-79.2 mg/kg의 농도범위로 가장 높게 나타났으며, 5-10 cm의 중간 퇴적층은 각각 15.5-34.1 mg/kg, 30.8-34.4 mg/kg, 55.7-65.8 mg/kg와 10 cm 이하 최하부 퇴적층은 각각 21.6-33.2 mg/kg, 24.8-44.8 mg/kg, 46.3-76.2 mg/kg로 비슷한 농도범위로 나타났다.

Fe의 경우 5개 지점중 MI-4 지점은 5 cm 이내, 10 cm 이하에서 각각 39.8, 33.2 mg/kg로 가장 높게 나타났으나, 5-10 cm의 중간 퇴적층에서는 16.2 mg/kg로 가장 낮게 나타났다. 5-10 cm는 CD-3 지점에서 34.1 mg/kg로 가장 높게 나타났으며, 그 외 CSL-1, 2와 MI-4은 비슷하게 나타났다. 지점별, 깊이별로 검출농도 패턴을 살펴보면 5 cm 이내, 10 cm 이하의 퇴적층은 비슷한 양상을 보이고 있는 반면에 5-10 cm은 다소 다른 패턴으로 나타났다. MI-4 지점의 5 cm는 다소 농도가 증가되고 있는 반면에 5-10 cm는 상당히 감소

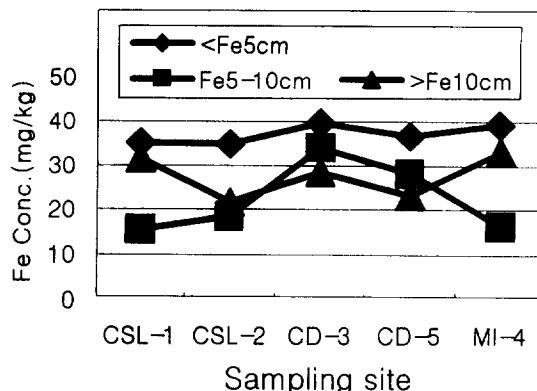


Fig. 2. Concentration of Fe for sediment related to depth in reservoir.

됨을 알 수 있었다. 이상의 결과로 볼때 시료채취지점에 대한 호수의 지형학적 (Fig. 1) 특성상 5 cm 이내의 퇴적층인 MI-4와 CD-3지점은 하류에 속해 다른 시료채취 지점보다 퇴적되는 정도가 더 많아 Fe의 농도가

더 많이 검출되는 것으로 나타났다. 이것은 수계의 하류쪽의 퇴적물속에 수질오염물질 함유 정도가 더 많이 포함될 수 있으며, 이들 퇴적물에 의한 수질오염물질을 줄이기 위하여 퇴적물의 준설 여부 등 다양하고 보다 구체적인 조사연구가 필요할 것으로 판단된다. 여기에 대한 구체적인 결과는 Fig. 2에 나타내었다.

Cu의 경우 5개 지점중 MI-4 지점은 5cm 이내, 10cm 이하에서 각각 44.8, 44.8 mg/kg로 가장 높게 나타났으나, 5-10cm의 중간 퇴적층에서는 32.8 mg/kg로 가장 낮게 검출된 CSL-1 지점의 30.8 mg/kg에 이어 그 다음으로 낮게 나타났다. 깊이별로 검출농도 패턴을 살펴보면 5cm 이내와 5-10cm은 지점별로 거의 유사하게 나타났으나 10cm 이하는 상당히 다르게 나타났다. 즉 CD-3 지점의 경우 5cm 이내에서는 가장 높은 값을 나타낸 반면에 10cm 이하에서는 24.8 mg/kg의 가장 낮은 농도로 검출되었다. CSL-2 지점의 경우 5cm 이내에서는 낮은 농도를 나타냈으나 10cm 이하에서는 두 번째로 높은 농도를 나타내어 깊이별, 지점별로 유사한 패턴을 보이는 경우도 있으나 상당히 다른 형태를 나타내는 것도 있었다. 호소의 지형학적 특성에 의한 5cm 이내의 퇴적물 중에 Cu의 함유 정도는 예측되었으나 5-10cm와 10cm 이하의 퇴적물은 호소의 지형학적 특성과는 다른 양상을 보여주어 계절적, 주기적 변화에 따른 보다 구체적인 조사 연구가 필요할 것으로 사료된다. 여기에 대한 구체적인 결과는 Fig. 3에 나타내었다.

Cr의 경우 5개 지점중 MI-4 지점은 5cm 이내, 10cm 이하에서 각각 79.2, 76.2 mg/kg로 가장 높게 나타

났으나, 5-10cm의 중간 퇴적층에서는 55.7 mg/kg로 가장 낮게 검출되었다. 5-10cm의 퇴적층의 경우 MI-4 지점을 제외한 나머지 4개 지점은 거의 유사한 값의 범위를 나타내어 지점별에 의한 오염정도를 해석, 평가하기가 어려웠다. CD-3 지점의 5cm 및 5-10cm은 높은 농도를 나타내었으나 10cm 이하에서는 46.3 mg/kg로 가장 낮게 나타났다. 5개 지점별에 대한 깊이별로 유사한 검출농도 패턴을 보이지 않았으나 5cm와 5-10cm의 CSL-1, 2와 CD-3 지점은 유사한 농도를 나타내었다. Cu의 경우처럼 호소의 지형학적 특성 등과 매우 비슷한 양상을 보여주었다. 여기에 대한 구체적인 결과는 Fig. 4에 나타내었다.

이상의 결과를 고찰해 볼 때 물과 가장 근접된 5cm 이내의 최상부 퇴적층이 5-10cm, 10cm 이하 퇴적층보다 가장 높은 농도를 나타내었는데 이것은 물로부터 오염물질이 축적되는 접촉거리가 가장 가깝고, 축적된 오염물질이 가장 많은 것으로 판단되었다. 또한 퇴적층으로부터 수질로 중금속이 용출되는 거리가 가장 짧기 때문에 퇴적물의 중금속 오염이 호소내의 수질오염에 상당한 영향을 미칠 것으로 생각되었다.

호소의 지형학적인 특성에 의한 지점별과 오염물질이 축적되는 자연적인 현상에 의한 깊이별로 Fe, Cu, Cr의 농도가 5cm 이내에서는 예상되는 것처럼 나타났으나 그외의 퇴적층 깊이별, 지점별로 중금속의 함유정도에 따라 오염정도를 명확히 규명하기가 어려웠다. 따라서 이에 대한 정확한 원인규명을 하기 위해서는 보다 체계적이고 지속적으로 조사연구를 수행할 뿐만 아니라 매우 커다란 관심을 가져 과학적인 근거

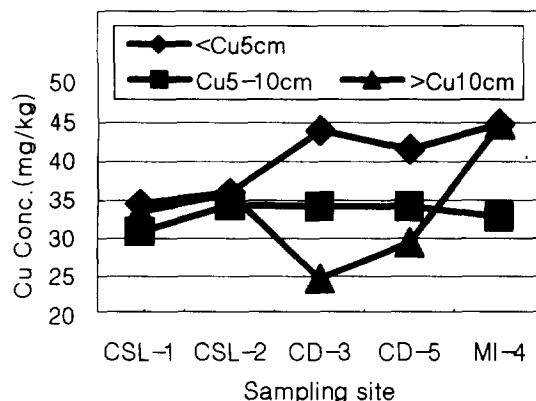


Fig. 3. Concentration of Cu for sediment related to depth in reservoir.

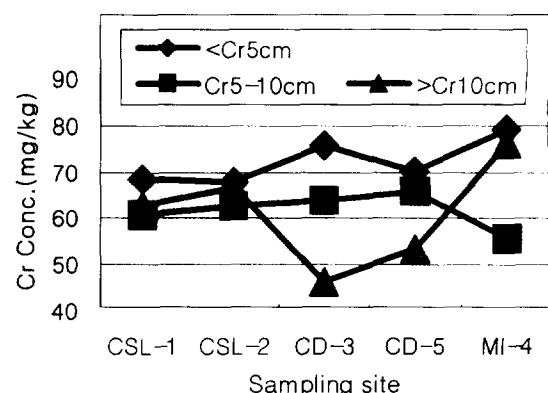


Fig. 4. Concentration of Cr for sediment related to depth in reservoir.

Table 1. The reliability for analytical result of Fe, Cu, Cr

Site	5 cm			5-10 cm			10 cm			
	Average	SD	RSD (%)	Average	SD	RSD (%)	Average	SD	RSD (%)	
Fe	CLS-1	35.1	0.20	0.6	15.5	0.57	3.7	31.6	0.64	2.0
	CLS-2	34.9	0.40	1.2	18.4	0.57	3.1	21.6	0.65	3.0
	CD-3	39.8	0.36	0.9	34.1	0.70	2.1	28.4	0.55	1.9
	CD-5	36.8	0.40	1.1	28.3	0.68	2.4	23.2	0.45	1.9
	MI-4	39.2	0.78	2.0	16.2	0.31	1.9	33.2	0.14	0.4
Cu	CLS-1	34.5	0.40	1.2	30.8	0.45	1.5	33.4	0.42	1.2
	CLS-2	36.0	0.45	1.3	34.4	0.45	1.3	35.8	0.36	1.0
	CD-3	44.0	0.47	1.1	34.2	0.47	1.4	24.8	0.50	2.0
	CD-5	41.6	0.55	1.3	34.2	0.42	1.2	29.4	0.42	1.4
	MI-4	44.8	0.35	0.8	32.8	0.42	1.3	44.8	0.46	1.0
Cr	CLS-1	68.5	0.62	0.9	60.6	0.85	1.4	62.6	0.56	0.9
	CLS-2	68.0	0.56	0.8	62.6	0.70	1.1	66.8	0.36	0.5
	CD-3	75.8	0.95	1.3	63.8	0.56	0.9	46.3	0.80	1.7
	CD-5	70.2	0.59	0.8	65.8	1.01	1.5	53.4	0.66	1.2
	MI-4	79.2	0.70	0.9	55.7	1.21	2.2	76.2	1.01	1.3

자료 확보가 무엇보다도 중요하다고 판단되었다.

각 지점별 및 깊이별에 따른 Fe, Cu, Cr에 대한 예이터의 신뢰도는 3회 이상 측정하여 그 평균값, 표준 편차 및 상대표준편차로 정확하게 나타내었다(Table 1).

3.2. Zn, Cd의 농도 비교 · 분석

5개 지점에 대한 Zn, Cd를 측정한 결과 수질과 바로 접촉된 최상부 5 cm 이내 퇴적층이 각각 147.4-126.0 mg/kg, 2.2-1.0 mg/kg의 농도범위로 가장 높게 나타났으며, 5-10 cm의 중간 퇴적층은 각각 130.4-112.1 mg/kg, 1.0-0.5 mg/kg와 10 cm 이하 최하부 퇴적층은 각각 138.4-109.6 mg/kg, 1.2-0.4 mg/kg로 비슷한 농도범위로 나타났다.

Zn의 경우 CSL-2 지점은 5 cm 이내, 5-10 cm, 10 cm 이하에서 모두 각각 147.4, 130.4, 138.4 mg/kg로 가장 높은 값을 나타냈으며, CD-5 지점에서는 각각 126.0, 112.1, 109.5 mg/kg로 가장 낮은 농도로 일관성있게 나타났다. 지점별로 검출되는 패턴은 깊이별에 따라 유사하게 나타났으나 특히, 5 cm 이내, 10 cm 이하의 퇴적층은 거의 유사한 패턴을 나타냈다. 호소의 지형학적 특성에 따른 시료채취 지점별로 수질오염물질의 함유정도를 Fe, Cu, Cr에서 예상했던 양상과는 달리

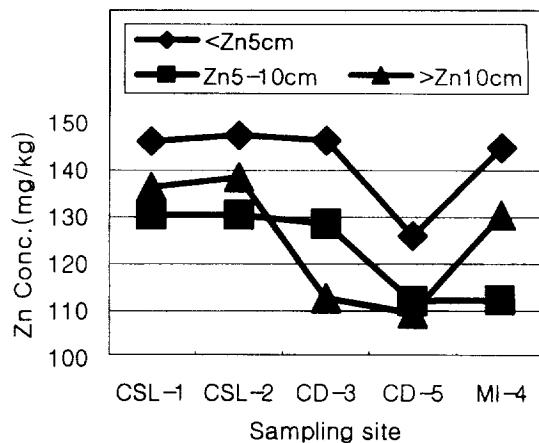


Fig. 5. Concentration of Zn for sediment related to depth in reservoir.

세가지 다른 모든 깊이의 CD-5 지점에서 가장 낮은 농도로 검출되었다. 이것은 호소의 지형학적 특성에 의한 자연적인 현상에 따른 퇴적물 중에 축적되는 Zn의 농도가 일반적으로 예상되는 것과 다른 수리수문학적인 특성에 의한 것으로 추측되며, 이에 대한 보다 구체적인 원인 규명을 위해서는 보다 많은 조사연구가 필요할 것으로 판단된다. 여기에 대한 구체적인 결

Table 2. The reliability for analytical result of Zn, Cd

Site	5 cm			5-10 cm			10 cm			
	Average	SD	RSD(%)	Average	SD	RSD(%)	Average	SD	RSD(%)	
Zn	CLS-1	146.2	0.98	0.7	130.4	1.55	1.2	136.3	1.72	1.3
	CLS-2	147.4	1.31	0.9	130.4	1.86	1.4	138.4	1.66	1.2
	CD-3	146.4	1.40	1.0	128.6	1.52	1.2	112.8	3.05	2.7
	CD-5	126.0	2.63	2.1	112.1	3.59	3.2	109.6	1.21	1.1
	MI-4	144.8	1.25	0.9	112.3	1.39	1.2	130.4	2.02	1.6
Cd	CLS-1	1.4	0.06	4.2	0.9	0.00	0.0	1.2	0.06	4.9
	CLS-2	1.0	0.06	5.6	0.8	0.06	7.5	0.9	0.00	0.0
	CD-3	1.2	0.06	4.9	1.0	0.06	6.0	0.8	0.00	0.0
	CD-5	2.2	0.00	0.0	0.9	0.06	6.7	0.4	0.00	0.0
	MI-4	1.6	0.06	3.5	0.5	0.00	0.0	0.8	0.06	7.5

과는 Fig. 5에 나타내었다.

Zn은 다른 4가지 중금속에 비해 약 2-5배 가량 높은 농도로 검출되었는데, 이것은 다른 금속에 비해 자연에 존재하는 량이 많았기 때문인 것이다.

Cd의 경우 CD-5 지점은 5 cm 이하에서 2.2 mg/kg로 가장 높은 값을 나타냈으며, 5-10 cm의 MI-4지점, 10 cm 이하의 CD-5 지점에서 각각 0.5, 0.4 mg/L로 가장 낮게 검출되는 것을 제외하고는 모두 0.8-1.4 mg/L의 비슷한 농도로 검출되었다. 이렇게 지점별, 깊이별로 거의 유사한 농도를 보여줌으로서 오염의 정도를 해석하고 평가하기가 매우 어려웠다. 호소의 지형학적 특성에 따라 예측되는 중금속의 함유정도와는 달리 CD-5지점은 Zn에서는 가장 낮게 검출되었으나 Cd에서는 가장 높게 나타났다. 따라서 퇴적물의 중금속 오염정도를 정확하게 평가하기 위해서는 지속적인 예산투자와 관심도에 따라 조사연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었다. 여기에 대한 구체적인 결과는 Fig. 6에 나타내었다.

상기의 결과를 고찰해 볼 때 깊이별로 물과 가장 균접된 5 cm 이내의 최상부 퇴적층은 5-10 cm, 10 cm 이하 퇴적층보다 높은 농도를 나타내었는데 이것은 수중의 오염물질이 축적되는 거리가 가장 가까워 축적되는 오염물질 량이 가장 많이 존재하였기 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 퇴적물중에 함유된 중금속이 수질로 용출되는 속도가 매우 느리고 커다란 전체 호소내 확산 또한 매우 느리다 할 지라도 장기적으로 퇴적물의 중금속 오염이 호소내의 수질오염에 상당한 영향을 미칠 것으로 생각되었다. 따라서 향후 호소내

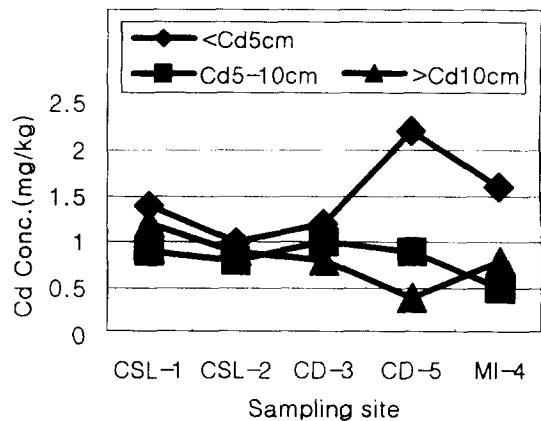


Fig. 6. Concentration of Cd for sediment related to depth in reservoir.

의 수질오염에 따른 수질관리를 위해서는 퇴적물에 대한 정확한 오염도 파악을 위한 지속적인 조사연구가 절대적으로 필요하다.

각 지점별 및 깊이별에 따른 Zn, Cd에 대한 데이터의 신뢰도는 3회 이상 측정하여 그 평균값 산출에 따른 표준편차 및 상대표준편차로 정확하게 나타내었다 (Table 2).

3. 결 론

K 수계 수심이 30-40 m의 5개 지점 퇴적물 시료에 대한 Fe, Cu, Cr, Zn, Cd 측정분석 결과는 다음과 같다.

1. 3가지 다른 깊이의 퇴적층 중 물층과 가장 근접

한 최상부로부터 5 cm 이내의 퇴적물은 가장 높은 농도의 중금속이 검출되었다. CD-3와 MI-4 지점에서 Fe, Cu, Cr이, CSL-2와 CD-5 지점에서 각각 Zn과 Cd이 가장 높게 나타났다.

2. Fe, Cu, Cr은 호소의 지형학적 특성에 따라 상류, 하류에 의한 시료채취 지점별로 퇴적물 중에 축적되는 농도를 예측할 수 있었으나 Zn과 Cd은 다르게 나타나 퇴적물의 중금속 오염정도를 정확하게 평가하기 위해서는 지속적인 예산 투자와 보다 체계적인 조사 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

3. 퇴적층 깊이별로 금속특성 및 오염도에 따라 함유정도가 다르나 5 cm 이내의 퇴적물이 물층과 가장 가깝게 균접되어 수중으로 용출되는 정도가 클 것으로 생각된다. 따라서 퇴적물은 호소내 수질오염유발 내적생산 요인으로 지속적인 오염도에 대한 조사연구와 이에 대한 처리방안을 강구할 필요가 있다.

참고문헌

1. 박선구, 김성수, 고오석, 분석과학, 12, 141-150 (1999).
2. 박선구, 현대환경리포트, 68-78, 현대환경연구소, 2000.
3. 오영민, 신석봉, 수질관리, 205, 산업공해연구소, 1982.
4. 박선구, “정수장진단반”, 73-93, 한국수자원공사, 2000.
5. “부영양화방지를 위한 저니로부터 인용출 제어연구”, 7-9, 한국수자원공사, 1991. 12월.
6. “영산호와 목포만의 퇴적물에 함유된 인의 용존형성 비교에 관한 연구”, 1-3, 강원대학교 박사학위논문, 1990. 2월.
7. 박선구 등의 7명, “호소, 하천 퇴적물의 조사”, 1-3, 국립환경연구원, 1997.
8. 박선구 등의 5명, “호소 및 하천의 퇴적물 조사”, 1-3, 국립환경연구원, 1998.
9. Robert B. Biggs, “Coastal Sedimentary Environments”, 91-94, 1990.
10. 팔당호 시험준설 영향조사 보고서, 4-5, 환경부, 1990. 12월.
11. 팔달호 퇴적물 준설 타당성 검토 공청회, 1-5, 국립환경연구원, 1998. 9. 22.
12. Robert L. Booth, “Handbook for Sampling and Sample Preservation of Water And Wastewater”, 293-344, USEPA, Cincinnati, Ohio, 1982.
13. 수질오염공정시험방법, 247, 257, 261, 265, 287, 환경부 고시 제 99-208호, 2000.
14. “Chemistry Laboratory Manual for Bottom Sediments and Elutriate Testing”, Region V, Chicago 43-59, USEPA, 1979.
15. 日本低質調査方法, 日本環境廳 水質保全全國水質管理課, 19, 25, 26, 27, 30, 日本環境測定分析協會, 1988년 12월.